

بررسی خواص ضدباکتری و خواص جذبی ماسک‌های یکبار مصرف بر پایه استفاده از هیدروکسی آپاتیت

ابوالفضل زارع، حامده رحیم‌نژاد، ساجده رحیم‌نژاد

یزد-دانشگاه یزد- دانشکده مهندسی نساجی- ۸۹۱۵۸۱۸۴

a.zare@yazd.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۱ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۵/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۲۶

چکیده

استفاده از ماسک صورت یک راه مناسب برای محافظت افراد در برابر بسیاری از آلاینده‌ها است. برای بهبود توانایی جذب آلاینده‌ها می‌توان از مواد مختلف مانند هیدروکسی آپاتیت استفاده کرد. از طرف دیگر، این ماده به عنوان یک ماده بسیار ارزشمند برای کاربردهای پزشکی شناخته شده است. هدف از این تحقیق تکمیل لایه میانی ماسک‌های یکبارمصرف با انواع مختلف ماده هیدروکسی آپاتیت در غلظت‌های ۱۰ و ۲۰ درصد و تأثیر این مواد از نظر آماری بر میزان جذب آلاینده‌های موجود و فعالیت ضدباکتری آن‌ها می‌باشد. به منظور کمی‌نمودن جذب آلاینده‌ها توسط لایه‌های مختلف ماسک‌های یکبار مصرف، دستگاهی طراحی و میزان جذب آلاینده‌ها شبیه‌سازی گردید. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که نمونه‌ای که لایه میانی آن حاوی هیدروکسی آپاتیت نانوساختار و نانوذرات اکسید روی است، درصد کاهش باکتری آن در برابر هر دو نوع باکتری استفیلوکوکوس آرئوس و اشرشیاکلی بیش از ۹۹ درصد است و از این‌رو این ماده می‌تواند خواص ضدباکتری مطلوبی را ایجاد کند داشته باشد. نمونه‌ای که حاوی هیدروکسی آپاتیت معمولی با غلظت ۱۰٪ است بیشترین جذب مواد و همچنین بالاترین کارایی را دارد.

کلمات کلیدی

هیدروکسی آپاتیت، ماسک یکبار مصرف، خواص ضدباکتری، خواص جذبی، نتایج آماری.

Investigating the antibacterial and absorbent properties of disposable masks based on the hydroxyapatite

Abolfazl Zare, Hamedeh Rahimnezhad, Sajedah Rahimnezhad

Department of Textile Engineering, Yazd University, Yazd, Iran-8915818411

a.zare@yazd.ac.ir

Abstract

The use of face mask is a good way to protect people from many pollutants. Different materials such as hydroxyapatite, can be used to improve the ability to absorb pollutants. In the other hand, this substance is known as a valuable substance for medical applications. The objective of this research is to apply various types of hydroxyapatite at concentrations of 10% and 20% to treat the middle layer of disposable masks. Subsequently, a statistical investigation will be conducted to assess the impact of this substrate on pollutant absorption and antibacterial activity. A device was assembled and utilized to simulate the absorption of pollutants, enabling the quantification of pollutant absorption by individual layers within disposable masks. The results of the tests showed that the sample with a middle layer incorporating hydroxyapatite nanostructure and zinc oxide nanoparticles demonstrated a bacterial reduction percentage exceeding 99% against both *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* bacteria. The sample containing 10% ordinary hydroxyapatite exhibited the highest material absorption and, consequently, the highest efficiency.

Keywords: Hydroxyapatite, Disposable mask, Antibacterial properties, Absorption properties, Statistical results.

۱- مقدمه

امروزه یکی از مهمترین چالش‌های موجود در بخش بهداشت و درمان، بحث ویروس کووید-۱۹ می‌باشد که منجر به ایجاد بیماری تنفسی عفونی شده و به دلیل سرعت بالای شیوع آن، منجر به مرگ و میر بسیاری از انسان‌ها در دنیا شده است. این بیماری همچنین منجر به ایجاد خسارت‌های روانی، اجتماعی و اقتصادی زیادی برای افراد و جوامع بشری شده است. مهمترین راه انتقال این ویروس از طریق تنفسی و قطرات مایع حاوی ویروس کووید-۱۹ می‌باشد. در بین روش‌های مختلف پیشگیری توصیه شده از سوی سازمان‌های معتبر بهداشتی همچون سازمان بهداشت جهانی به منظور کاهش انتقال و همه‌گیری این ویروس، رعایت بهداشت تنفسی و استفاده از انواع ماسک‌های تنفسی به عنوان یک روش ساده و ارزان پیشنهاد گردیده است که می‌تواند منجر به کاهش انتقال بیماری در بین افراد گردد [۱-۳].

استفاده از ماسک به عنوان یک راه حل پیشگیرانه، می‌تواند یک روش مناسب برای مهار بیماری‌های همه‌گیر باشد و می‌تواند از پراکنده شدن قطرات سرفه و یا عطسه توسط افراد آلوده هنگام فعالیت‌های صوتی مانند صحبت کردن و آوازخواندن جلوگیری به عمل آورد. اقدامات کنترلی همچون استفاده از ماسک باید قبل از شروع علائم بیماری صورت گرفته و همه‌ی افراد دارای علائم و بدون علائم نیز از ماسک استفاده کنند زیرا ممکن است افراد بدون علائم هم ویروس‌های عفونی را منتقل کنند [۴-۶]. باید بدین نکته نیز توجه

داشت که ماسک‌های مصرفی نیز می‌توانند خود به عنوان منبع انتقال آلودگی عمل نمایند زیرا عوامل بیولوژیک مانند باکتری‌ها و ویروس‌ها ممکن است در سطح ماسک‌های تنفسی، زنده مانده و باعث ایجاد انتقال آلودگی به محیط و یا افراد پیرامون گردند [۷].

به منظور کاهش این خطرات، انواع مختلفی از ماسک‌های صورت وجود دارد که سطوح مختلفی از محافظت را به مصرف‌کنندگان ارائه می‌دهند که از بین آن‌ها می‌توان به ماسک‌های صورت جراحی برای محافظت از مصرف‌کننده در برابر قطرات عفونی در محیط‌های بالینی اشاره نمود [۴]. این نوع ماسک‌ها دارای یک محافظ هستند که از فرد در برابر جریان مایعات به عنوان مثال مثال عطسه و انتقال باکتری از دهان و بینی فرد مصرف‌کننده در برابر قطرات مایع و آئروسول‌ها محافظت می‌کنند. ماسک‌های صورت جراحی تجاری معمولاً ساختاری سه لایه دارند که هر لایه عملکرد ویژه متفاوتی دارد: لایه میانی به عنوان فیلتر عمل می‌کند، لایه بیرونی آبرگریزی را ایجاد می‌کند و درونی‌ترین لایه برای جذب رطوبت حاصل از تنفس می‌باشد. یکی از مشکلات متداول در حین استفاده از این ماسک‌ها، احساس ناخوشایند حاصل از رطوبت و گرمای ناشی از هوای تنفسی است. ممکن است لایه داخلی بتواند شرایطی را فراهم بیاورد که رطوبت بازدم بخار شده تا احساس خنکی ایجاد کند [۸-۱۰].

هیدروکسی آپاتیت با فرمول شیمیایی $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ که به صورت یک شش ضلعی یون‌های کلسیم و فسفات حول

یون‌های هیدروکسیل تک ظرفیتی است مربوط به گروه گسترده‌ای از فسفات کلسیم از جمله فسفات تری و اکتا و تترا کلسیم است که به عنوان یک ماده زیست سازگار مشابه اجزای معدنی استخوان و دندان شناخته شده است. بعلاوه، به عنوان پوشش‌های زیست‌فعال، ترمیم بافت نرم، استفاده در دارو و همچنین به عنوان یک ترکیب برای استفاده در فرآیند تولید مواد معدنی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۱].

هیدروکسی آپاتیت در بدن هیچ گونه تأثیر سمی بر جای نمی‌گذارد و سازگاری زیستی بسیار مناسبی با بافت‌های سخت برقرار می‌کند. علاوه بر این، توانایی ایجاد پیوند مستقیم با استخوان را نیز دارد [۱۲]. پودر خالص این ماده به رنگ سفید است و به دلیل داشتن یون‌های فلزی مختلف در شبکه کریستالی آن، آپاتیت طبیعی دارای رنگ‌های مختلفی از جمله رنگ قهوه‌ای، زرد یا سبز می‌باشد [۱۳].

از جمله خواص هیدروکسی آپاتیت می‌توان به مواردی مثل نسبت سطح به حجم بالا، غیرسمی، غیرالتهابی، پایداری تحت شرایط خنثی، حلالیت کم در آب و مقاومت در برابر شکستگی اشاره نمود [۱۴]. علاوه بر این، هیدروکسی آپاتیت حاوی یون‌هایی می‌باشد که قابلیت جایگزینی با دیگر یون‌ها را دارد که یکی از بهترین روش‌ها برای تولید این ماده با خواص ضدباکتری استفاده از ترکیب یون‌های نقره است که می‌تواند از طریق مکانیسم‌های مختلف به عنوان مثال اختلال درغشای سلول به دلیل بارهای مثبت، غیرفعال سازی آنزیم‌ها با اتصال به گروه‌های تیول آن‌ها، جلوگیری از جذب فسفات، اصلاح

ساختار DNA و تولید ترکیبات اکسیژن واکنش پذیر از رشد باکتری جلوگیری کند [۱۵]. می‌توان جایگزینی‌ها را در هیدروکسی آپاتیت انجام داد تا مشابه ترکیب‌های شیمیایی استخوان شود. اولین نوع جایگزینی، جایگزین کاتیونی است، جایی که یون‌ها جایگزین اتم‌های کلسیم در شبکه می‌شوند. نوع دیگر، آنیونی است که دارای دو شکل است زیرا جایگزینی هر دو گروه هیدروکسیل و فسفات وجود دارد و همچنین نوع مخلوط این دو ترکیب نیز امکان‌پذیر است [۱۱].

نانوذرات هیدروکسی آپاتیت استخلافی با هر دو کاتیون و آنیون برای افزایش خواص مکانیکی آن‌ها در دهه‌های اخیر مورد توجه علمی زیادی قرار گرفته است. نانوذرات هیدروکسی آپاتیت استخلافی دارای زیست‌سازگاری عالی بوده و به طور گسترده برای کاربردهای پزشکی مانند تحویل دارو و ژن، مهندسی بافت، ترمیم استخوان، ایمپلنت‌های دندان، تصویربرداری زیستی و جذب زیستی استفاده می‌شوند [۱۶]. روی که یک جایگزین کاتیونی است می‌تواند به راحتی در ساختار هیدروکسی آپاتیت وارد شود و از نظر کلات‌کنندگی قابلیت خوبی دارد. علاوه بر این، نانوکامپوزیت‌های حاوی هیدروکسی آپاتیت و نانوذرات اکسید روی (HAp-ZnO) نشان داده شده است که جذب و تخریب آنتی بیوتیک‌های خوبی را نشان می‌دهد. افزایش محتوای ZnO در نانوکامپوزیت‌های HAp-ZnO خواص فوتوکاتالیستی آن‌ها را بهبود می‌بخشد [۱۷ و ۱۸].

بطور کلی جاذب هیدروکسی آپاتیت یکی از موادی است که می‌توان از آن برای تصفیه آب و حذف یون در پساب‌های صنعتی استفاده کرد. در واقع ذرات هیدروکسی آپاتیت توانایی پاکسازی محیط را از انواع فلزات سنگین خطرناک دارد. اخیراً استفاده از مواد معدنی مصنوعی یا طبیعی مثل هیدروکسی آپاتیت یکی از زمینه‌های اصلی تحقیقات در زمینه نساجی است [۱۹].

هدف از تحقیق شهبازی و همکارانش، مشخص کردن ویژگی هیدروکسی آپاتیت در تقویت خواص فیلتراسیون بود. در تحقیق آن‌ها، نانوساختار هیدروکسی آپاتیت و نانوالیاف پلی-اکریلونیتریل برای تقویت خواص فیلتراسیون لایه‌های ماسک تنفسی مورد استفاده قرار گرفتند. لایه‌های مورد استفاده، متشکل از منسوجات بی‌بافت اسپان باند، ملت بلون و نانوالیاف الکترونیسی شده بود. راندمان فیلتراسیون برای ذرات با اندازه‌های مختلف و همچنین افت فشار ایجاد شده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد وجود ذرات نانوساختار هیدروکسی آپاتیت باعث افزایش راندمان فیلتراسیون می‌شود ولی تأثیر چندانی روی افت فشار ندارد. افزایش وزن نانوالیاف، راندمان فیلتراسیون را افزایش و افت فشار لایه را نیز بالا می‌برد و استفاده از ذرات نانوساختار هیدروکسی آپاتیت و الکترونیسی نانوالیاف پلی‌اکریلونیتریل در یک ضخامت مشخص به تقویت خواص فیلتراسیون لایه‌های ماسک تنفسی کمک می‌کند و همچنین افت فشار ایجاد شده در بازه قابل قبول ماسک‌های تنفسی FFP3 قرار دارد [۲۰].

مونماتوراپوچ و همکاران در سال ۲۰۱۸، فعالیت ضدویروسی کامپوزیت هیدروکسی آپاتیت با دی‌اکسید تیتانیوم (HA/TiO_2) را مورد بررسی قرار دادند. کامپوزیت HA/TiO_2 (HA50: Ti50) با استفاده از یک روش واکنش حالت جامد و همچنین سایش در دمای ۶۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۲ ساعت تهیه شد. تشکیل فاز و مورفولوژی پودرهای کامپوزیتی HA/TiO_2 بدست آمده با استفاده از پراش اشعه ایکس و میکروسکوپ الکترونی روبشی تعیین شد. نتیجه حاصل از پراش اشعه ایکس نشان داد که کامپوزیت HA / TiO_2 به خوبی تهیه شده است و میکروسکوپ الکترونی روبشی بلورهای کوچکی از دی‌اکسید تیتانیوم بکار رفته در بلورهای هیدروکسی آپاتیت را نشان داد. یک فعالیت ضدویروسی قوی در برابر ویروس A آنفلوانزا H1N1 در غلظت ۰/۵ میلی‌گرم در میلی‌لیتر کامپوزیت تحت تابش اشعه ماوراء بنفش به مدت ۶۰ دقیقه مشاهده شد. پس به طور کلی نتایج به دست آمده از این مطالعه نشان داد که کامپوزیت HA/TiO_2 می‌تواند به عنوان یک ترکیب عالی در فیلتراسیون ضد میکروبی برای ماسک‌های صورت استفاده شود [۲۱].

در تحقیقی در سال ۲۰۲۱ مجموعه‌ای از کامپوزیت‌های نانوالیاف پلی‌کاپرولاکتون در ترکیبات مختلف هیدروکسی آپاتیت اصلاح شده ساخته شد. هیدروکسی آپاتیت بدست آمده با یون‌های نقره/وانادات با درصد‌های مختلف نقره عمل شدند. تکنیک‌های آزمایش‌های پراش اشعه ایکس و طیف-سنج مادون قرمز، تشکیل فاز پودری و الیافی را تأیید کرد.

تحقیقات بیشتر در کاربردهای بیولوژیکی از جمله ترمیم زخم مورد استفاده قرار داد [۲۲].

در تحقیق دیگر کامپوزیت هیدروکسی آپاتیت مغناطیسی یا اکسید هیدروکسی آپاتیت آهن ($\text{HAp-Fe}_3\text{O}_4$) (III) را به عنوان جاذب فلزات سنگین مورد استفاده قرار دادند. آن ها از تحقیق خود نتیجه گرفتند که وجود فلزات سنگین در پساب می تواند برای بسیاری از موجودات سمی بوده و حتی منجر به سوختگی چشم شود، بنابراین هیدروکسی آپاتیت مصنوعی از رسوب شیمیایی محلول نیترات کلسیم تتراهیدرات و دی-آمونیم هیدروژن فسفات برای حذف فلزات سنگین در محیط های آبی استفاده می شود. خواص مغناطیسی Fe_3O_4 می تواند از تشکیل آلاینده ها جلوگیری کند. $\text{HAp-Fe}_3\text{O}_4$ سنتز شده مصنوعی می تواند کادمیوم، روی و سرب را به طور موثر حذف کند که تا ۹۰ درصد حذف می شود. این مطالعه قابلیت استفاده مجدد را نشان می دهد که جاذب می تواند یون های فلزات سنگین را حتی پس بعد از چهار دوره حفظ کند. درصد حذف فلزات سنگین پس بعد از چهار بار استفاده در حدود ۸۰ درصد باقی می ماند و همچنین نتیجه گرفتند که کامپوزیت $\text{HAp-Fe}_3\text{O}_4$ عملکرد و ثبات خوبی را نشان می دهد که برای حذف فلزات سنگین در آینده مفید است [۲۳].

در تحقیقی دیگر زارع و همکارانش تأثیر سیکل شستشو بر کارایی ماسک های پارچه ای تکمیل شده با هیدروکسی آپاتیت را مورد بررسی قرار دادند.

علاوه بر این، خواص مورفولوژیکی و مکانیکی نانوالیاف الکترورسی شده حاوی هیدروکسی آپاتیت مورد بررسی قرار گرفت. بر روی نانوالیاف تولیدی آزمایش هایی همچون زاویه تماس، تست ضدباکتری، زنده ماندن سلول و رشد سلول فیبروبلاست های انسانی (HFB_4) انجام گرفت. مشخص است که یون های نقره باعث انحراف تبدیل تدریجی دانه های پودر از دانه های ویفر مانند به حالت ابری می شوند. حداکثر ارتفاع زبری برای کمترین و بیشترین یون های نقره اضافی برای مراحل پودر شده از ۹۰۲/۰ تا ۹۵۶/۹ نانومتر متغیر بود. علاوه بر این، بیشترین درصد نقره از طریق فازهای نانوالیاف منجر به تشکیل کمترین اندازه رشته ها از ۰/۰۷ تا ۰/۵۳ میکرومتر می شود. بعلاوه، مقاومت در برابر شکست پارگی از $\pm 0/35$ تا $2/51$ مگاپاسکال در غلظت صفر یون های نقره تا $\pm 0/64$ تا $4/23$ مگاپاسکال در ۰/۶ نقره/ پلی کاپرولاکتون وانادات- هیدروکسی آپاتیت افزایش یافت. نانوالیاف رشته ای از نظر ضدباکتری، زنده ماندن سلول و رشد رده سلولی فیبروبلاست های انسانی (HFB_4) از نظر بیولوژیکی ارزیابی شدند. ترکیب نانوالیاف ۰/۸ و استافیلوکوکوس آرتوس رسیده و به ترتیب $20/3 \pm 1/1$ و $19/8 \pm 1/2$ میلی متر ثبت کرده است. این عملکرد قابل توجه، فعالیت ضدباکتریایی و زنده ماندن سلول هیدروکسی آپاتیت توزیع شده از طریق کامپوزیت های نانوالیاف پلی کاپرولاکتون را نشان داد و بیان کرد که می توان این ترکیبات را برای

- نرمکن آنیونی با نام تجاری Atlas soft A300 میکرو شرکت اطلس شیمی
- هیدروکسی آپاتیت با نام تجاری APPA100 تولید شرکت دانش بنیان پردیس پژوهش فناوران یزد با اندازه ذرات ۲۰ تا ۵۰ میکرون
- بیندر اکریلاتی با نام تجاری Atlas bind Ac100 تولید شرکت اطلس سینا دو برابر مقدار ماده هیدروکسی آپاتیت
- غلظت‌دهنده مصنوعی با نام تجاری Atlas Syntetick p300
- مواد افزودنی از جمله دیسپرس‌کننده مربوط به شرکت ترکیه‌ای و تثبیت‌کننده به‌منظور ایجاد پایداری و یکنواختی و امکان انجام فرایند

۲-۲- تکمیل لایه میانی و تهیه نمونه ماسک‌های تولیدی

فرایند آماده‌سازی نمونه ماسک‌ها به این صورت بود که ابتدا امولسیون مربوطه از مواد مورد نیاز آماده گردید و سپس منسوج بی‌بافت SMS که به عنوان لایه میانی ماسک در نظر گرفته شد و باید روی آن تکمیل انجام شود، درون ظرف امولسیون در دمای محیط قرار داده شد. پس بعد از فرایند آغشته‌سازی، نمونه‌ها را خارج و بعد از عبور از غلتک‌های فولارد با پیک آپ برداشت ۱۰۰٪ در دمای محیط، خشک و به منظور تثبیت تکمیل انجام‌شده، نمونه‌ها به مدت ۵ دقیقه در استنتر و در دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد پخت شدند. برای تهیه ماسک‌های یکبار مصرف از منسوج بی‌بافت اسپان باند

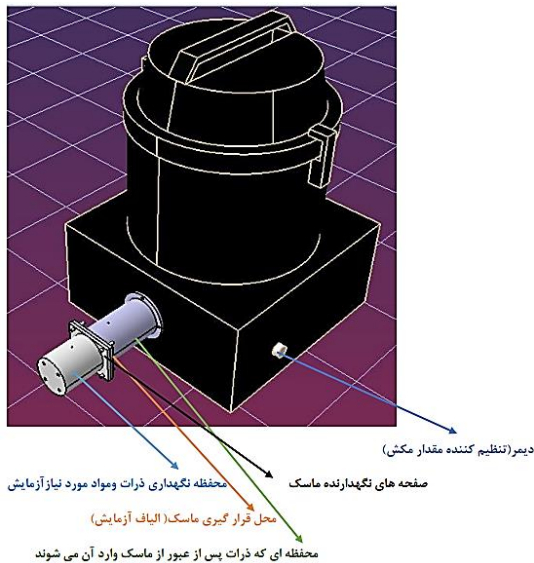
در این پژوهش، منسوج بی‌بافت اسپان‌باند با هیدروکسی آپاتیت تکمیل شده و از این منسوج به عنوان لایه میانی در تهیه ماسک‌های سه‌لایه استفاده شد. لایه داخلی و خارجی ماسک‌های تولیدی از دو نوع منسوج با ساختار حلقوی پودی و تافته تهیه گردید. پس از آماده‌سازی ماسک‌ها، تاثیر سیکل-های شستشو بر عملکرد این نوع ماسک‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که برای هر سه لایه ماسک (داخلی-میانی-خارجی) تاثیر ساختار ماسک و سیکل شستشو بر تغییرات وزن از نظر آماری معنی‌دار می‌باشد. علاوه بر این نتایج نشان داد که ماسک‌هایی که حاوی لایه میانی تکمیل-شده با هیدروکسی آپاتیت نانو ساختار دوپ‌شده با نانوذرات اکسید روی می‌باشند دارای بالاترین میزان نفوذپذیری هوا می‌باشند [۲۴].

هدف از انجام این تحقیق تهیه ماسک‌های سه‌لایه یکبارمصرف می‌باشد که لایه میانی آن با انواع مختلف ماده هیدروکسی آپاتیت در درصدهای مختلف تکمیل شده است. نوآوری این پژوهش، اندازه‌گیری کمی جذب آلاینده‌ها توسط لایه‌های ماسک‌های یکبارمصرف به وسیله دستگاه طراحی شده و اندازه‌گیری راندمان فیلتراسیون برای ذرات با اندازه-های میکروبی می‌باشد.

۲-تجربی

۲-۱- مواد مصرفی

مواد مورد استفاده برای تهیه امولسیون به‌منظور تکمیل لایه میانی نمونه‌ها به شرح زیر است:



شکل ۱- طرح سه بعدی و اجزای مختلف دستگاه اندازه گیری میزان عبور آلاینده‌ها از لایه‌های ماسک

همان‌طور که در شکل فوق قابل مشاهده هست ابتدا جعبه مشکی رنگ قرار دارد که محل قرارگیری موتور برای ایجاد مکش است. بر روی جعبه، دیمر تعبیه شده است که تنظیم‌کننده مقدار شدت مکش است. بعد از آن یک محفظه‌ای استوانه‌ای شکل است که به جعبه مشکی رنگ وصل شده است که ذرات پس از عبور از ماسک وارد آن می‌شوند در واقع پس از مکش، مقدار پودرهایی که از لایه داخلی ماسک عبور می‌کنند در این محفظه وارد می‌شوند. پس از آن سپس صفحه‌های نگهدارنده ماسک است که محل قرارگیری ماسک در وسط دو صفحه می‌باشد. به این صفحات یک محفظه استوانه‌ای شکل وصل است که این محفظه‌ی نگهداری ذرات و مواد مورد آزمایش است و بر روی این محفظه برای ایجاد مکش بهتر سوراخ‌هایی تعبیه شده است. نحوه عملکرد دستگاه بدین صورت است که ماسک مورد آزمایش را وزن نموده و سپس در بین دو صفحه نگهدارنده

۳۰ گرم بر مترمربع تولید شرکت بافتینه ملایر به عنوان لایه‌های داخلی و خارجی استفاده شد. برای لایه میانی ماسک‌ها، منسوج بی‌بافت SMS تکمیل شده با مواد متداول استفاده گردید که سه لایه روی هم قرار گرفت و ماسک تهیه شد. نمونه‌های مشخصات لایه میانی ماسک‌های یکبار مصرف تهیه شده همراه با کد مربوطه در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- کد نمونه ماسک‌ها و مشخصات لایه میانی ماسک‌ها

مشخصات لایه میانی	کد
لایه SMS بدون تکمیل	1
لایه SMS تکمیل شده با هیدروکسی آپاتیت معمولی با غلظت 10%	2
لایه SMS تکمیل شده با هیدروکسی آپاتیت معمولی با غلظت 20%	3
لایه SMS تکمیل شده با هیدروکسی آپاتیت نانوساختار با غلظت 10%	4
لایه SMS تکمیل شده با هیدروکسی آپاتیت نانوساختار با غلظت 20%	5
لایه SMS تکمیل شده با ماده نانوساختار هیدروکسی آپاتیت با غلظت 10% و نانوذرات دوپ شده اکسید روی با غلظت 1%	6

به منظور شبیه‌سازی و اندازه‌گیری میزان آلاینده‌های موجود در هوای تنفسی، دستگاهی طراحی شد. طرح سه بعدی و اجزای این دستگاه در شکل ۱ نشان داده شده است.

فیلتراسیون است [۲۲ و ۲۳]. این دو عامل توسط دستگاه شمارنده ذره TES 5200 بدست می‌آید. این دستگاه قابلیت شمارش ذرات و شمارش جرمی ذرات را دارا می‌باشد.

$$\eta = 1 - \frac{C_{down}}{C_{up}}$$

۲-۳-۲- نفوذپذیری فیلتر

نفوذپذیری فیلتر برابر با حاصل تفریق کارایی از عدد یک می‌باشد و با P نشان می‌دهند. واحد آن درصد می‌باشد. فرمول آن به صورت معادله ۲ است که در آن N1 تراکم ذرات قبل از فیلتر و N2 تراکم ذرات بعد از فیلتر است [۲۲].

$$P = 1 - \eta = \frac{N2 * 100}{N1}$$

۲-۳-۳- فاکتور فشردگی

$$Packing\ density = \frac{w}{pt}$$

w: وزن مترمربع بر حسب گرم بر مترمربع

ρ = چگالی بر حسب گرم بر سانتی‌مربع

t = ضخامت بر حسب میلی‌متر

۲-۳-۴- میزان تخلخل

میزان تخلخل = ۱ - درصد فشردگی

۲-۳-۵- آزمون فعالیت ضد میکروبی

برای ارزیابی فعالیت ضد میکروبی از روش کمی AATCC Test Method 100 استفاده شد. شمارش باکتری‌های زنده توسط دستگاه شمارنده کلونی صورت گرفت. محاسبه درصد کاهش باکتری توسط رابطه ۵ انجام می‌شود:

Reduction Rate(%)

$$= (A - B)/A \times 100$$

که محل قرارگیری ماسک است قرار داده می‌شود سپس در داخل محفظه نگهداری مواد، مقدار ۰/۱ گرم پودر کربن اکتیو با اندازه متوسط ۲۰ میکرون و توزیع پراکندگی ۱ تا ۵۰ میکرون ریخته می‌شود. پس از اینکه عمل مکش با شدت و زمان مشخص انجام شد، با وزن کردن مجدد ماسک موجود، تغییرات وزن محاسبه می‌گردد. به کمک این روش می‌توان وزن لایه خارجی، میانی و داخلی هر کدام از ماسک‌ها را بصورت جداگانه قبل و بعد انجام تست با دستگاه بدست آورد و در انتها با جمع کردن تغییرات وزن هر کدام از لایه‌های ماسک، تغییرات وزن ماسک سه لایه که رو هم قرار گرفته بدست آورد.

از نرم افزار spss 2020 به منظور تحلیل آماری نتایج و معنادار بودن داده‌ها در سطح ۵٪ استفاده شد. همچنین به منظور اثربخشی متغیرهای مستقل از آنالیز واریانس (ANOVA) استفاده گردید. نتایج حاصله از ۵ تکرار برای هر نمونه حاصل شده‌اند. همچنین برای بررسی اندازه نانوذرات مصرفی از دستگاه SEM مدل Tesca Vegan 3 استفاده گردید.

۲-۳-۳- بررسی برخی پارامترهای نمونه ماسک‌های تولیدی

۲-۳-۱- کارایی

برای شناسایی فیلترهای مناسب انجام تست کارایی لازم است. هر فیلتر دارای یک قابلیت ربایش یا راندمان می‌باشد. کارایی فیلتراسیون آئروسول توسط معادله ۱ تعریف می‌شود که در آن Cup و Cdown غلظت آئروسول قبل و بعد از عبور از محیط

لایه‌های خارجی از نوع اسپانداوند و مشابه می‌باشند می‌توان نتیجه گرفت که نوع لایه خارجی ماسک بر روی جذب مواد توسط ماسک‌ها تأثیرگذار نمی‌باشد.

A = تعداد کلونی باکتری روی نمونه عمل نشده B = تعداد کلونی باکتری روی نمونه عمل شده

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی نتایج مربوط به دستگاه اندازه‌گیری میزان عبور

آلاینده‌ها از لایه‌های ماسک

وزن لایه‌های خارجی، میانی و داخلی هر کدام از نمونه ماسک‌ها قبل و بعد از انجام آزمون و تغییرات وزنی آن‌ها در جدول ۲ تا ۴ گزارش داده شده است.

جدول ۳- وزن و تغییرات وزنی لایه میانی نمونه ماسک‌ها قبل و بعد از قرارگیری بر روی دستگاه طراحی شده

تغییرات وزنی (میلی-گرم)	وزن لایه میانی بعد از آزمون (میلی‌گرم)	وزن لایه میانی قبل از آزمون (میلی‌گرم)	نمونه
11.10	485.20 (13.92)	473.96 (14.62) *	1
21.26	534.82 (14.37)	513.56 (17.12)	2
8.24	630.60 (17.38)	622.36 (15.72)	3
20.57	525.94 (15.63)	505.37 (17.12)	4
5.16	568.59 (18.25)	563.43 (13.90)	5
21.30	519.53 (14.29)	498.23 (14.09)	6

جدول ۲- وزن و تغییرات وزنی لایه خارجی نمونه ماسک‌ها قبل و بعد از قرارگیری بر روی دستگاه طراحی شده

تغییرات وزنی (میلی‌گرم)	وزن لایه خارجی بعد از آزمون (میلی‌گرم)	وزن لایه خارجی قبل از آزمون (میلی‌گرم)	نمونه
1.18	448.63 (14.34) *	446.83 (12) *	1
1.91	445.01 (13.58)	443.10 (15.83)	2
2.73	447.03 (19.30)	444.30 (13.99)	3
1.65	444.15 (18.85)	442.50 (18.21)	4
2.55	449.05 (12.41)	446.50 (14.12)	5
1.67	441.63 (17.44)	439.96 (15.47)	6

* داده‌های گزارش شده در پرانتز انحراف معیار داده‌ها می‌باشد.

* داده‌های گزارش شده در پرانتز انحراف معیار داده‌ها می‌باشد.

همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌گردد اختلاف تغییرات وزنی لایه میانی نسبت به لایه خارجی بسیار زیاد و معنادار می‌باشد که نشان‌دهنده آن است که قسمت اعظم جذب مواد معلق موجود در هوا توسط لایه میانی ماسک‌ها انجام می‌گیرد. بعلاوه، بیشترین جذب مواد، توسط لایه میانی نمونه ۶ انجام گرفته است که حاوی ۱۰٪ نانوساختار هیدروکسی آپاتیت و ۱٪ نانوذرات اکسید مس می‌باشد. نتایج آماری نشان می‌دهد که نمونه‌های ۲، ۴ و ۶ داری تفاوت معناداری نبوده و در یک دسته قرار می‌گیرند و این بدان معناست که نمونه‌هایی با غلظت ۱۰٪ هیدروکسی آپاتیت در انواع مختلف دارای جذب مشابهی می‌باشند. همچنین نمونه ۳ و ۵ نیز که دارای ۲۰٪

نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که تغییرات وزنی لایه خارجی ۶ نمونه ماسک تهیه‌شده نزدیک به هم می‌باشد. نتایج آنالیز واریانس نیز نشان می‌دهد که تغییرات معناداری در تغییرات وزنی لایه خارجی ۶ نمونه ماسک وجود ندارد و تمام ۶ نمونه از نظر آماری در یک دسته قرار می‌گیرند. از آنجاییکه تمام

داشته‌اند دارای کمترین تغییرات وزنی در لایه داخلی می- باشند و این بدان معناست که لایه میانی که دارای بیشترین تغییرات وزنی بوده است قادر به جذب بیشتر مواد می‌باشد.

۳-۲- بررسی کارایی، نفوذپذیری و تغییرات وزن و نفوذپذیری فیلتر نمونه ماسک‌ها

مقادیر بدست آمده از محاسبه کارایی، نفوذپذیری فیلتر و تغییرات وزن نمونه ماسک‌ها در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۵-مقادیر کارایی، نفوذپذیری فیلتر و تغییرات وزن نمونه ماسک‌ها قبل و بعد از تست

تغییرات وزنی (میلی‌گرم)	تغییرات وزنی سه لایه ماسک (برحسب میلی‌گرم)	نفوذپذیری فیلتر (بر حسب درصد)	کارایی	نمونه
1.27	13.55	79.6	0.204	1
0.34	23.51	74.9	0.251	2
1.11	12.08	85.1	0.149	3
0.80	23.02	77.4	0.226	4
1.64	9.35	93.0	0.07	5
0.40	23.37	76.3	0.237	6

هیدروکسی آپاتیت می‌باشند دارای اختلاف معناداری نبوده و در یک دسته قرار می‌گیرند و مقدار جذب آن‌ها نسبت به نمونه فاقد مواد تکمیلی و نمونه‌هایی با غلظت ۱۰٪ هیدروکسی آپاتیت بسیار کمتر می‌باشد که می‌تواند به دلیل پوشانده شدن خلل و فرج لایه SMS توسط ذرات مواد باشد. این نتایج با نتایج قبلی بدست‌آمده از ماسک‌های پارچه‌ای مطابقت دارد [۲۴].

جدول ۴- وزن و تغییرات وزنی لایه داخلی نمونه ماسک‌ها قبل و بعد از قرارگیری بر روی دستگاه طراحی شده

تغییرات وزنی (میلی‌گرم)	وزن لایه داخلی بعد از آزمون (میلی‌گرم)	وزن لایه داخلی قبل از آزمون (میلی‌گرم)	نمونه
1.27	455.30 (13.85)	454.03 *(13.85)	1
0.34	434.47 (11.12)	434.13 (13.22)	2
1.11	439.31 (14.54)	438.20 (15.04)	3
0.80	446.83 (13.70)	446.03 (17.63)	4
1.64	454.05 (13.30)	448.40 (15.10)	5
0.40	452.87 (10.19)	452.47 (14.79)	6

* داده‌های گزارش شده در پرانتز انحراف معیار داده‌ها می- باشد.

با توجه به مقادیر ارایه شده در جدول فوق می‌توان به این نتیجه رسید که بین کارایی و مقدار مواد جذب شده در ماسک‌ها رابطه مستقیم وجود دارد. میزان کارایی ماسک همان میزان ربایش مواد داخل آن را نشان می‌دهد پس بنابراین هر چه کارایی نمونه ماسک بیشتر باشد باید مقدار موادی که داخل ماسک جذب شده نیز بیشتر باشد که شواهد نشان داده شده نیز همین نتیجه را بیان می‌کند. از بین تمام نمونه‌های تکمیل شده، نمونه ۲ نسبت به سایر نمونه‌های دیگر بیشترین کارایی را داشته پس از این‌رو مواد جذب شده داخل

نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که تغییرات وزنی لایه داخلی ۶ نمونه ماسک تهیه شده متفاوت می‌باشند. نتایج آنالیز واریانس نیز نشان می‌دهد که نمونه‌های ۱، ۳ و ۵ در یک دسته و نمونه‌های ۲، ۴ و ۶ نیز در یک دسته قرار می‌گیرند. نتایج نشان می‌دهد که میان تغییرات وزنی لایه میانی و لایه داخلی هر نمونه ارتباط معناداری وجود دارد بدین صورت که نمونه ماسک‌هایی که لایه میانی آن‌ها بیشترین تغییرات وزنی

بالاترین میزان فاکتور فشردگی نیز می‌باشد. نمونه ۵ بیشترین وزن و همچنین بیشترین فشردگی را داشته است و کمترین وزن و فشردگی مربوط به نمونه ۱ می‌باشد. با توجه به نتایج تخلخل، در تمام نمونه‌ها میزان تخلخل بالای ۸۰ درصد است. از طرف دیگر بین فشردگی و تخلخل رابطه عکس وجود دارد [۲۰] از این‌رو، نمونه ۵ بدلیل داشتن بیشترین فشردگی، کمترین تخلخل را دارد و نمونه ۱ نسبت به نمونه‌های دیگر دارای بیشترین تخلخل است. نتایج آماری نشان می‌دهد که به جز نمونه ۱، اختلاف معناداری در میزان تخلخل نمونه‌های ماسک وجود ندارد.

۳-۴- بررسی نتایج آزمون فعالیت ضدباکتری

چنانچه بخواهیم از ماسک‌های جراحی عمومی برای مقابله با میکروارگانیزم‌ها و مخصوصاً باکتری‌ها استفاده کنیم آزمون ضدباکتری یک از پارامترهای مهم برای تعیین کیفیت ماسک محسوب می‌گردد. نتایج آزمون ضدباکتری هر ۶ نمونه در جدول ۷ نشان داده شده است. همانطور که در جدول مذکور مشخص می‌باشد به غیر از نمونه ۶ که حاوی نانوذرات اکسید روی می‌باشد، بقیه نمونه‌ها فاقد خاصیت ضدباکتری در برابر دو باکتری گرم‌مثبت استافیلوکوکوس آرنوس و گرم‌منفی اشرشیاکولی می‌باشند. این امر می‌تواند به دلیل وجود خاصیت ضدباکتری اکسیدهای فلزی همچون اکسید روی باشد [۳۳-۲۵].

آن نیز از همه بیشتر بوده است. همچنین نمونه ۵ کمترین کارایی در نتیجه کمترین جذب مواد را داشته است. نفوذپذیری فیلتر که با توجه به رابطه کارایی بدست می‌آید، یک رابطه عکس بین این دو پارامتر وجود دارد و نتایج نیز نشان می‌دهد که نمونه ۲ بیشترین کارایی و در نتیجه کمترین نفوذپذیری فیلتر را داشته است و از طرف دیگر نمونه ۵ بدلیل کارایی کمتر، نفوذپذیری فیلتر آن از همه بیشتر می‌باشد. این نتایج با نتایج کار قبلی انجام‌شده مطابقت دارد [۲۴].

۳-۳- بررسی رابطه وزن مترمربع، فاکتور فشردگی و تخلخل

نمونه ماسک‌ها

جدول ۶ وزن مترمربع، فاکتور فشردگی و میزان تخلخل نمونه ماسک‌های تهیه شده را نشان می‌دهد.

جدول ۶- وزن بر مترمربع، فاکتور فشردگی و میزان تخلخل نمونه ماسک‌های تهیه شده

میزان تخلخل (برحسب درصد)	فاکتور فشردگی	وزن بر مترمربع (g/m ²)	نمونه
94.3	11.2	68.9	1
83.8	13.1	74.8	2
81.4	14.6	80.2	3
82.9	13.2	75.6	4
79.3	14.8	81.8	5
83.5	13.5	74.7	6

در جدول فوق با توجه به مقادیر نمونه‌های تکمیل شده، نمونه‌ای که دارای بیشترین وزن در متر مربع می‌باشد دارای

۴- نتیجه گیری

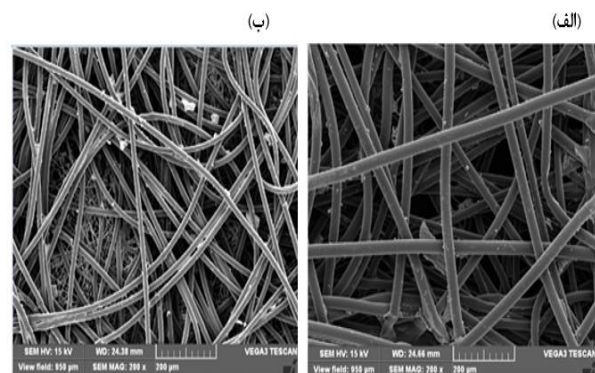
در این تحقیق تکمیل لایه میانی ماسک‌های یکبار مصرف با انواع مختلف ماده هیدروکسی آپاتیت در غلظت‌های ۱۰ و ۲۰ درصد و تأثیر این مواد بر میزان جذب آلاینده‌های موجود در هوا و فعالیت ضدباکتری آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. همچنین به منظور کمی نمودن جذب آلاینده‌ها توسط لایه‌های مختلف ماسک‌های یکبار مصرف، دستگاهی طراحی و میزان جذب آلاینده‌ها شبیه‌سازی گردید. نتایج نشان داد که نوع لایه میانی بر روی خواص جذبی لایه خارجی ماسک‌های یکبار مصرف تأثیری ندارد ولی بر روی جذب لایه داخلی نمونه‌ها موثر می‌باشد. همچنین نتایج وزنی حاصل از دستگاه طراحی شده نشان داد که وظیفه اصلی جذب مواد در ماسک‌های یکبار مصرف بر عهده لایه میانی می‌باشد و از این رو تکمیل این لایه با مواد جاذبی همچون هیدروکسی آپاتیت می‌تواند نقش موثری در بهبود کارایی این نوع ماسک‌ها داشته باشد. همچنین نتایج آزمون‌ها نشان داد که تکمیل لایه میانی با غلظت ۲۰٪ هیدروکسی آپاتیت در دو نوع معمولی و نانو می‌تواند منجر به افت کیفیت و کارایی ماسک گردد و نمونه‌های تکمیل شده با غلظت‌های ۱۰٪ بهترین نتیجه را دارند. بر مبنای آزمون ضدباکتری، نمونه ۶ را می‌توان به عنوان نمونه بهینه با درصد باکتری‌کشی بالای ۹۹٪ در مراکز جراحی و بیمارستانی و همچنین محیط‌های آلوده به انواع باکتری‌ها استفاده نمود.

جدول ۷- نتایج آزمون ضدباکتری

کد	درصد کاهش باکتری استافیلوکوکوس آرنوس	درصد کاهش باکتری اشرشیا کولی
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	99.85	99.81

۵-۳- تصاویر SEM

شکل‌شناسی سطحی لایه میانی بی‌یافت اصلاح شده در اشکال ۲ نشان داده شده‌اند. اشکال ۲ (الف و ب) تصاویر SEM نمونه ۵ و ۶ می‌باشد. تصویر الف مربوط به لایه میانی نمونه ۵ می‌باشد. همانطور که شکل الف نشان می‌دهد بر روی الیاف، نانوذرات هیدروکسی آپاتیت مشخص می‌باشد. در شکل ب، وجود ذرات هیدروکسی آپاتیت معمولی مشخص می‌باشد که دارای ابعادی در حد میکرو می‌باشند. همانطور که در این دو تصویر مشاهده می‌گردد سطح لایه میانی بی‌یافت توسط یک لایه ماده هیدروکسی آپاتیت پوشیده شده است.



شکل ۲- تصاویر میکروسکوپ الکترونی پوشی نمونه ۵ (الف) و ۶ (ب)

۵- مراجع

- [1] Lyu, W., Wehby, G., "Community Use of Face Masks And COVID-19: Evidence From A Natural Experiment Of State Mandates In The US", NO. 8, HEALTH AFFAIRS 39, 1419-1425, 2020
- [2] Verma, S., Dhanak, M., Frankenfield, J., "Visualizing the effectiveness of face masks in obstructing respiratory jets", 32(6), Physics of Fluids, 2020
- [۳] هیوه چی ا، شراهی م، سارلی م.ا، بروکی میلان پ، تقاضا برای ماسک‌های نانوفناوری با قابلیت محافظتی برتر در جهان بعد از کرونا، علوم و فناوری نساجی: ۹، ۱، ۱۳۹۹
- [4] Hui Chua, M., Cheng, W., Simin Goh, S., Kong, J., Li, B., Lim, J.Y.C., Mao, L., Wang, S., Xue, K., Yang, L., Ye, E., Zhang, K., Davy Cheong, W.C., Hoon Tan, B., Li, Z., Hock Tan, B., Jun Loh, X., "Face Masks in the New COVID-19 Normal: Materials, Testing, and Perspectives", AAAS Research Volume 2020, Article ID 7286735, 1-40, 2020
- [5] Wei, W.E., Li, Z., Chiew, C.J., Yong, S.E., Toh, M.P., Lee, V.J., "Presymptomatic transmission of SARS-CoV-2 - Singapore", vol. 69, no. 14, Morbidity and Mortality Weekly Report, pp. 411-415, 2020
- [6] Mehrotra, P., "Medical masks are a tool that can be used to prevent the spread of respiratory infection", Volume 323, Number 15, JAMA PATIENT PAGE, Medical masks, 2020
- [7] Li, Y., Wong, T., Chung, J., "In vivo protective performance of N95 respirator and surgical facemask", 49(12), AMERICAN JOURNAL OF INDUSTRIAL MEDICINE, indexed in Pubmed: 17096360, 1056-1065, 2006
- [8] Tcharkhtchi, A., Abbasnezhad, N., Zarbini Seydani, M., Zirak, N., Farzaneh, S., Shirinbayan, M., "An overview of filtration efficiency through the masks: Mechanisms of the aerosols penetration", Bioactive Materials, 6(1), 106-122, 2021
- [9] Wibisono, Y., Fadila, C. R., Saiful, S., Bilad, M. R., "Facile Approaches of Polymeric Face Masks Reuse and Reinforcements for Micro-Aerosol Droplets and Viruses Filtration: A Review", 12(11), Polymers, 2020
- [10] S.K, Ch., Dhumal, Sh., "Use of Nonwoven textiles in surgical mask: A perspective", Volume 10, Number 23, Indian Journal of Science, 10-13, 2014
- [11] K. Lin, J. Chang, Structure and properties of hydroxyapatite for biomedical applications, D. Shepherd, Zinc-substituted hydroxyapatite for the inhibition of osteoporosis, Mucalo, M (EDs), Hydroxyapatite (HAp) for Biomedical Applications (E.BOOK), 2015
- [۱۲] فتحی م، حنیفی آ، روحانی اصفهانی، ساخت، مشخصه یابی و ارزیابی مقایسه‌های زیست فعالی هیدروکسی آپاتیت نانو ساختار، مواد پیشرفته در مهندسی، سال ۳۰، شماره ۲، پاییز ۱۳۹۰ (استقلال)
- [13] Wijesinghe, W.P.S.L., "OVERVIEW TO HYDROXYAPATITE NANOPARTICLES AND THEIR APPLICATIONS", Vol 01, Board of Study Chemical Sciences, 29-30, 2014
- [14] Phatai, P., Futralan, C.M., Kamonwannasit, S., Khemthong, P., "Structural characterization and antibacterial activity of hydroxyapatite synthesized via

sol-gel method using glutinous rice as a template”, 89, Journal of Sol-Gel Science and Technology, 764–775, 2019

[15] Turon, P., del Valle, L.j., Carlos, A., Puiggali, J., “Biodegradable and Biocompatible Systems Based on Hydroxyapatite Nanoparticles”, 7(1), 60, Applied Sciences, 2017

[16] Abeywardana, L., Sandaruwan, Ch., Dahanayake, D. “Zinc-Doped Hydroxyapatite-Urea Nanoseed Coating as an Efficient Macro-Micro Plant Nutrient Delivery Agent”, ACS Agricultural Science & Technology, 2021

[17] Oliveira, C., de Oliveira, A. L. M., Chantelle, L., Landers, R., Medina-Carrasco, S., Del Mar Orta, M., ... Fonseca, M. G., “Zinc (II) modified hydroxyapatites for tetracycline removal: Zn (II) doping or ZnO deposition and their influence in the adsorption”, Polyhedron, Journal Pre-proofs, 2020

[۱۸] زارع، رحیم‌نژاد ح، رحیم‌نژاد س، مروری بر روش‌های ضد میکروبی و ضد ویروسی ماسک‌های جراحی، علوم و فناوری نساجی، ۹، ۴، ۱۳۹۹

[۱۹] ولایی، ا، سالم، ا، کاربردهای نوین هیدروکسی آپاتیت و استفاده از آن به عنوان جاذب در فرآیند تصفیه پساب‌های صنعتی، فرایند نو، ۷، ۴۰، ۹۱

[۲۰] شهبازی، ن، رامیار، م، حافظی، م، ملاحسینی، ح، استفاده از نانو الیاف پلی اکریلونیتریل و ذرات نانو ساختار هیدروکسی هاپاتیت برای بالا بردن راندمان فیلتراسیون

ماسک تنفسی، یازدهمین همایش سراسری بهداشت و ایمنی کار، ۱۳۹۸

[21] Monmaturapoj, N., Sri-on, A., Klinsukhon, W., Boonnak, K., Prahsarn, C., “Antiviral activity of multifunctional composite based on TiO₂-modified hydroxyapatite”, Materials Science and Engineering: C, 92, 96–102, 2018

[22] El-Hamshary, H., El-Naggar, M.E., El-Faham, A., Abu-Saied, M.A., Ahmed, M.K., Al-Sahly, M., Preparation and Characterization of Nanofibrous Scaffolds of Ag/Vanadate Hydroxyapatite Encapsulated into Polycaprolactone: Morphology, Mechanical, and In Vitro Cells Adhesion, 13, Polymers, 2021

[23] Hui, Kh.Ch., Kamal, N.A., Sambudi, N.S., Bilad, M.R., “Magnetic Hydroxyapatite for Batch Adsorption of Heavy Metals”, 287, E3S Web of Conferences, 2021

[۲۴] زارع، ا، نمیرانیان، ر، ملاحسینی، ح، رحیم‌نژاد ح، رحیم‌نژاد س، تأثیر سیکل شستشو بر کارایی ماسک‌های پارچه‌ای تکمیل شده با هیدروکسی آپاتیت، علوم و فناوری نساجی، ۱۱، ۳(۴۳)، ۱۴۰۱

[25] Zare A., Application of β -CD to control the release of ZnO nanoparticles on the silk fabric surface along with citric acid as eco-friendly cross-linker, Progress in Color, Colorants and Coatings, 16, 2023.

[26] A. Verbić, M. Gorjanc, B. Simončić, Zinc Oxide for Functional Textile Coatings: Recent Advances, *Coatings*, 9, 1-26, 2019.

[27] A. Amani, M. Montazer, M. Mahmoudirad, Synthesis of applicable hydrogel corn silk/ZnO

nanocomposites on polyester fabric with antimicrobial properties and low cytotoxicity, International Journal of Biological Macromolecules, 123, 1079-1090, 2019.

[28] S.Kathirvelua, L. D'Souza, B Dhurai, UV protection finishing of textiles using ZnO nanoparticles, Indian Journal of Fibre & Textile Research, 34, 267-273,2009.

[29] A. Salama, Chitosan/silk fibroin/zinc oxide nanocomposite as a sustainable and antimicrobial biomaterial, Cellulose chemistry and technology, 52, 903907, 2018.

[30] S. Majumder, U.R. Dahiya, S. Yadav, P. Sharma, D. Ghosh, G.K. Rao , V. Rawat, G. Kumar, A. Kumar, Ch.M. Srivastava, Zinc Oxide Nanoparticles Functionalized on Hydrogel Grafted Silk Fibroin Fabrics as Efficient Composite Dressing, Biomolecules, 10, 710-723,2020.

[31] M.T. Noman, N. Amor, M. Petru, A. Mahmood, P. Kejzlar, Photocatalytic Behaviour of Zinc Oxide Nanostructures onSurface Activation of Polymeric Fibres, Polymers, 13, 1227-1244, 2021.

[32] M. Mazarji, Gh. Nabi Bidhendi, N. M. Mahmoodi, Mathematical modelling of an annular photocatalytic reactor for methylene blue degradation under UV light irradiation using rGO-ZnO hybrid, Progress in Color, Colorants and Coatings, 4, 85-94, 2011

[33] A. Yadav, V. Prasad, A.A. Kathe, S. Raj, D. Yadav, C. Sundaramoorthy, N. Vigneshwaran, Functional finishing in cotton fabrics using zinc oxide nanoparticles, Bulletin Materials Science, 29, 641-645,2006.